

15This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**





Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



Veröffentlichungsnummer: **0 419 936 A1**

12

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: 90117490.4

51 Int. Cl.<sup>5</sup>: G01J 9/00, G03H 1/04

22 Anmeldetag: 11.09.90

Die Bezeichnung der Erfindung wurde geändert  
(Richtlinien für die Prüfung im EPA, A-III, 7.3).

30 Priorität: 13.09.89 DE 3930632

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
03.04.91 Patentblatt 91/14

84 Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH DE DK ES FR GB GR IT LI LU NL SE

71 Anmelder: Steinbichler, Hans, Dr.  
Am Bauhof 4  
W-8201 Neubeuern(DE)

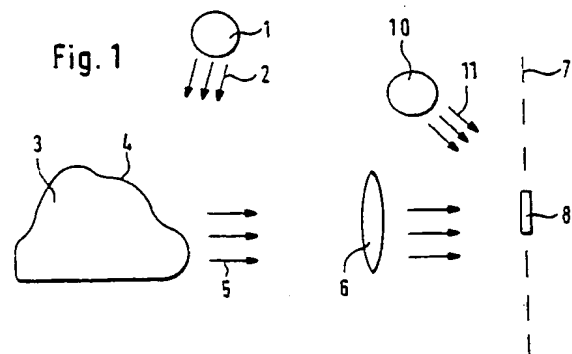
72 Erfinder: Steinbichler, Hans, Dr.  
Am Bauhof 4  
W-8201 Neubeuern(DE)  
Erfinder: Gutjahr, Jörg  
Heidenweg 18  
W-5223 Nümbrecht(DE)

74 Vertreter: Zinnecker, Armin, Dipl.-Ing. et al  
Rechtsanwälte E. Lorenz - Dipl.-Ing. H.-K.  
Gossel Dr. I. Philipps - Dr. P.B. Schäuble Dr.  
S. Jackermeier Dipl.-Ing. A. Zinnecker  
-Dr.R.E.Ingerl-  
Patentanwalt Dr.-Ing.D. Laufhütte  
Widenmayerstrasse 23 D8000 München  
22(DE)

54 Verfahren und Vorrichtung zur Phasenmessung von Strahlung, insbesondere Lichtstrahlung.

57 Ein Verfahren dient zur direkten Phasenmessung von Strahlung (2), insbesondere Lichtstrahlung, die von einem Körper (3) mit diffus reflektierender Oberfläche (4) reflektiert wird. Damit die Phase in einer einzigen Aufnahme gemessen werden kann, wird der Körper (3) mit kohärenter Strahlung (2) einer vorbestimmten Frequenz bestrahlt. Die reflektierte Strahlung (5) wird von einer Abbildungsoptik (6) in eine Bildebene (7) abgebildet, in der sich ein Sensor (8) mit einer Vielzahl von vorzugsweise regelmäßig angeordneten Sensorelementen befindet. Auf den Sensor (8) wird eine Referenzstrahlung (11) mit der gleichen Frequenz mit definierter Phasenlage überlagert. Bei gerichteten Objektstrahlen, wie sie bei spiegelnden oder transparenten Körpern auftreten, wird der Referenzstrahl so eingestellt, daß auf den Sensor eine Periode des durch die Überlagerung von den Objekt- und Referenzstrahlen entstehende Interferenzfeld mindestens drei Sensorelemente überdeckt. Die Abbildungsoptik (6) wird derart ausgebildet bzw. eingestellt, daß die Bilder der durch die Strahlung (2)

auf den Körper (3) erzeugten speckles in der Bildebene (7) mindestens drei Sensorelemente überdecken. Aus den Intensitätssignalen der mindestens drei Sensorelemente wird die Phase der Strahlung (5) von dem Körper (3) bestimmt.



EP 0 419 936 A1

## VERFAHREN ZUR DIREKTEN PHASENMESSUNG VON STRAHLUNG, INSBESONDERE LICHTSTRAHLUNG, UND VORRICHTUNG ZUR DURCHFÜHRUNG DIESER VERFAHRENS

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur direkten Phasennmessung von Strahlung, insbesondere Lichtstrahlung, die von einem Körper mit diffus reflektierender Oberfläche reflektiert wird. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Durchführung eines derartigen Verfahrens.

Das Verfahren der direkten Phasennmessung kann dazu benutzt werden, um Linienbilder quantitativ auszuwerten, wie sie bei interferometrischen Methoden oder bei der Projektion von Linienmustern auf Objektive oder bei Moiré-Methoden entstehen. Die genannten Methoden dienen zur Messung des optischen Weges oder zur Messung der Änderungen des optischen Weges, hervorgerufen durch Verschiebungen oder Verformungen lichtstreuender Objekte oder Brechzahländerungen transparenter Objekte. Projektions- oder Moiré-Methoden dienen u.a. der Bestimmung von dreidimensionalen Formen von Objekten oder deren Änderung.

Es ist bereits bekannt, Linienbilder auf der Oberfläche eines räumlichen Körpers mit der Phasenshift-Technik auszuwerten. Ein derartiges Verfahren ist in der DE-OS 37 23 555 beschrieben, das sich allerdings nur auf Projektions- und Moiré-Verfahren bezieht. Auf den Inhalt dieser Vorveröffentlichung wird Bezug genommen. Bei dem vorbekannten Verfahren werden mindestens drei phasenverschobene Bilder in einen Rechner eingelesen und ausgewertet. Zur vollständigen, automatischen Bestimmung des räumlichen Verlaufs der Oberfläche des Körpers, also zur Bestimmung aller drei Raumkoordinaten für jeden Punkt der Oberfläche des Körpers, ist es erforderlich, mindestens drei phasenverschobene Bilder in den Rechner einzulesen und auszuwerten, da in der Gleichung für die gemessene Intensität eines jeweiligen Bildpunktes drei Unbekannte vorliegen:

$$I = a(x) (1 + m(x) \cos \theta)$$

Hierin bedeuten

$I$  = Intensität (gemessen)

$a$  = Untergrundhelligkeit

$m$  = Kontrast

$\theta$  = Phasenverschiebung (gesuchte Größe)

Da lediglich die Intensität gemessen werden kann, befinden sich in der obengenannten Gleichung drei Unbekannte. Zur Ermittlung der gesuchten Phasenverschiebung ist es also erforderlich, drei Gleichungen zu erhalten, was dadurch erfolgt, daß drei phasenverschobene Bilder aufgenommen werden. Die Einzelheiten sind in der DE-OS 37 23 555 beschrieben, auf deren Inhalt Bezug genommen wird.

Bei dem vorbekannten Verfahren kann der räumliche Verlauf der Oberfläche eines Körpers auch mit nur einer einzigen Aufnahme berechnet werden, wenn zusätzliche weitere Informationen eingegeben werden. In der Praxis ist es jedoch oft wünschenswert oder sogar erforderlich, den räumlichen Verlauf der Oberfläche eines Körpers automatisch ohne zusätzlich einzugebende Informationen zu ermitteln. In diesem Fall müssen bei dem vorbekannten Verfahren drei Aufnahmen gemacht werden. Während der Zeitspanne zwischen diesen Aufnahmen kann sich die Oberfläche des Körpers verändern. Hierdurch können dann zu ungenaue oder gar unbrauchbare Ergebnisse entstehen. Insbesondere bei der Schwingungsanalyse muß der Oberflächenverlauf durch eine einzige Aufnahme festgestellt werden können.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren der eingangs angegebenen Art zur direkten Phasennmessung von Strahlung und eine Vorrichtung zur Durchführung eines derartigen Verfahrens vorzuschlagen, mit denen mit einer einzigen Aufnahme eine vollständige Phasennmessung möglich ist.

Bei einem Verfahren der eingangs angegebenen Art wird diese Aufgabe durch die im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 angegebenen Merkmale gelöst. Danach wird der Körper mit kohärenter Strahlung (z.B. Laserstrahlung) einer vorbestimmten Frequenz bestrahlt. Es wird die (diffus) reflektierte Strahlung von einer Abbildungsoptik in eine Bildebene abgebildet, in der sich ein Sensor mit einer Vielzahl von vorzugsweise regelmäßig angeordneten Sensorelementen befindet. Bei einem analogen Sensor (z.B. Röhrenkamera) entspricht das Sensorelement der Auflösung. Auf den Sensor wird eine Referenzstrahlung mit gleicher Frequenz und definierter Phasenlage überlagert, so daß ein Interferenzfeld auf dem Sensor entsteht. Der Referenzstrahl wird dabei so eingestellt, daß eine Periode des Interferenzfeldes mindestens drei Sensorelemente überdeckt. Die Abbildungsoptik wird derart ausgebildet bzw. eingestellt, daß die Bilder der durch die Strahlung auf dem Körper erzeugten speckles in der Bildebene ebenfalls mindestens drei Sensorelemente überdecken. Aus den Intensitätssignalen der mindestens drei Sensorelemente wird die Phase der Strahlung von dem Körper bestimmt.

Bei der Bestrahlung eines diffus reflektierenden Körpers oder diffus streuenden Körpers (z.B. Mattscheibe) mit kohärenter Strahlung, wie beispielsweise Laserlicht, werden sogenannte speckles sichtbar. Der physikalische Mechanismus, der dieser speckle-Bildung zugrundeliegt, ist bekannt.

Der durchschnittliche Durchmesser eines speckles errechnet sich nach der Formel (Literatur: Charles Vest: Holografic Interferometry, Seite 35; Verlag: John Wiley & Sons, New York)

$$d = 1,5 \times L \times z / D$$

Hierin bedeuten:

d = durchschnittlicher speckle-Durchmesser

L = Wellenlänge der Strahlung

z = Bildweite (Abstand der Hauptebene der Abbildungsoptik von der Bildebene)

D = Durchmesser der Abbildungsoptik (bzw. des Objektivs der Abbildungsoptik)

Den Bildern der speckles in der Bildebene wird eine Referenzstrahlung mit einer vorgegebenen Trägerfrequenz überlagert. Die Referenzstrahlung besitzt eine definierte Phasenlage. Durch die Überlagerung der Referenzstrahlung mit der vom Körper reflektierten Strahlung entsteht ein Interferenzmuster. Dieses Interferenzmuster, das der Trägerfrequenz entspricht, wird so eingestellt, daß eine Periode auf mindestens drei Sensorelemente (Pixel) entfällt. Das für jedes speckle entstehende Interferenzmuster wird von mindestens drei Sensorelementen (pixel = picture element) empfangen. Man erhält also pro speckle mindestens drei Stützstellen für die Bestimmung der Phasenlage. Für eine Gruppe von drei Sensorelementen kann damit die Phasenlage eindeutig berechnet werden. Im Endergebnis wird durch diese Verfahrensweise das Auflösungsvermögen des Sensors auf ein Drittel reduziert, da für die Phasenbestimmung eines Punktes drei Sensorelemente erforderlich sind. Hierfür erhält man jedoch den großen Vorteil, daß man die Phasenlage mit einer einzigen Aufnahme eindeutig bestimmen und berechnen kann. Aus der Phasenlage kann auf die Koordinaten der Oberfläche des Körpers geschlossen werden, beispielsweise nach dem Verfahren der DE-OS 37 23 555.

Bei gerichteten Strahlen, wie sie bei spiegelnden oder transparenten Objekten auftreten, treten keine speckles auf. Das Interferenzfeld auf dem Sensor zwischen der von dem Objekt kommenden Strahlung und der Referenzstrahlung ist dann so einzustellen, daß eine Periode dieses Interferenzfeldes mindestens drei Sensorelemente überdeckt.

Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich besonders für die Schwingungsanalyse (Analyse von dynamischen Verformungen), für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung, für die Konturprüfung (beispielsweise von Zähnen), für die Verformungsmessung (Analyse statischer Verformungen), für interferometrische und projizierende Verfahren, für Moiré und auch für die Spannungsoptik.

Vorteilhafte Weiterbildungen des Verfahrens sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Die Sensorelemente (pixel) können zeilenweise längs paralleler Linien vorzugsweise gleichbeabstandet angeordnet sein. Vorzugsweise wird die

Abbildungsoptik derart ausgebildet bzw. eingestellt, daß die Bilder der durch die Strahlung auf dem Körper erzeugten speckles in der Bildebene mindestens drei nebeneinander liegende Sensorelemente einer Zeile überdecken. Es werden dann drei in einer Zeile nebeneinander liegende Stützstellen für die Bestimmung der Phasenlage verwendet.

Vorzugsweise wird die Referenzstrahlung durch einen Lichtwellenleiter in die Abbildungsoptik eingeleitet. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Referenzstrahlung durch eine vor oder in der Abbildungsoptik angeordnete Blende mit mehreren, vorzugsweise zwei, Aperturen zu erzeugen. Die Referenzstrahlung kann auch durch einen vor oder in der Abbildungsoptik angeordneten optischen Keil (Prisma) erzeugt werden, der einen Teil, vorzugsweise eine Hälfte, der Apertur der Abbildungsoptik überdeckt. Dieses Verfahren ist als "Shearing-Verfahren" bereits bekannt, das zur Verformungsmessung verwendet wird. Es wurde in der Literaturstelle Applied Optics, Vol. 18, No. 7, April 1, 1979, S. 1046-1051, beschrieben (Y.Y. Hung and C.Y. Liang, Image-Shearing camera for direct measurement of surface strains). Die Abbildung erfolgte hier nicht auf einen optoelektronischen Sensor mit der Besonderheit, daß die Periode der Trägerfrequenz auf mindestens drei pixel abgestimmt ist, sondern auf normales Silberschichtfotomaterial.

Die Referenzstrahlung kann auch durch ein vor oder in der Abbildungsoptik angeordnetes optisches Gitter erzeugt werden.

Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung ist dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzstrahlung über einen Strahlteiler in den abbildenden Strahlengang eingeleitet wird.

Vorzugsweise werden auf den Sensor mehrere Referenzstrahlungen mit jeweils einer vorbestimmten, vorzugsweise konstanten Trägerfrequenz mit definierter Phasenlage überlagert. Es können zwei Referenzstrahlungen überlagert werden. Die Referenzstrahlungen können jeweils verschiedene Frequenzen aufweisen.

Vorteilhaft ist es, wenn in dem abbildenden Strahlengang eine Zwischenabbildung erzeugt wird. Der abbildende Strahlengang enthält also eine Zwischenabbildung. Dies wird dadurch erreicht, daß ein erstes Objektiv und ein zweites Objektiv vorgesehen sind, wobei sich das erste Objektiv näher am Objekt und das zweite Objektiv näher an der Bildebene befindet. Zwischen beiden Objektiven befindet sich die Zwischenabbildung. Diese Anordnung bringt den Vorteil mit sich, daß das erste Objektiv ohne Schwierigkeiten gewechselt werden kann. Es ist auch möglich, für das erste Objektiv ein Zoom-Objektiv zu verwenden. Durch beide Maßnahmen kann der Bildausschnitt beliebig gewählt werden, ohne daß eine Neujustierung der

gesamten Anordnung erfolgen muß. Die Referenzstrahlung wird in der Hauptebene des zweiten Objektivs eingeleitet.

Die oben angegebene Aufgabe wird auch durch eine Vorrichtung nach dem Anspruch 14 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen dieser Vorrichtung sind in den weiteren Unteransprüchen beschrieben.

Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zur direkten Phasenmessung von Strahlung, insbesondere Lichtstrahlung oder Infrarotstrahlung, die ein transparentes Medium durchläuft oder die von einer spiegelnden Oberfläche reflektiert wird. Die oben angegebene Aufgabe wird bei einem derartigen Verfahren durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 13 gelöst. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 13, die aus den Merkmalen des Anspruchs 29 besteht.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachstehend anhand der beigefügten Zeichnungen im einzelnen beschrieben. In den Zeichnungen zeigt

Fig. 1 eine Darstellung des Verfahrens in einer schematischen Ansicht,

Fig. 2 einen Sensor mit Sensorelementen (pixel) in einer schematischen Darstellung,

Fig. 3 eine Abbildungsoptik in einer schematischen Darstellung,

Fig. 4 den Verlauf der Intensität der Strahlung im Verhältnis zu einer Zeile des Sensors in einer schematischen Darstellung,

Fig. 5 eine Abbildungsoptik mit einem Lichtwellenleiter,

Fig. 6 eine Abbildungsoptik mit einer Blende mit mehreren Aperturen,

Fig. 7 eine Abbildungsoptik mit einem Gitter,

Fig. 8 eine Abbildungsoptik mit einem Keil (Prisma),

Fig. 9 eine Darstellung des Verfahrens für Phasenobjekte,

Fig. 10 eine Abbildungsoptik mit einer Zwischenabbildung und

Fig. 11 eine Abbildungsoptik mit einem Strahlteiler.

Die Fig. 1 zeigt eine Schemadarstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens sowie einer Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens. Von der Strahlungsquelle 1 wird kohärente Strahlung (Laserstrahlung) 2 einer vorbestimmten Frequenz auf den Körper 3 mit diffus reflektierender Oberfläche 4 gestrahlt.

Die von der Oberfläche 4 des Körpers 3 reflektierte Strahlung 5 wird von einer Abbildungsoptik 6 in eine Bildebene 7 abgebildet. In der Bildebene 7 ist ein Sensor 8 mit einer Vielzahl von regelmäßig angeordneten Sensorelementen 9 (Fig. 2) angeordnet. Der Sensor kann ein CCD-Sensor bzw. eine

CCD-Matrix sein. Bei den zur Zeit erreichbaren Sensorelement-Dichten befinden sich etwa 100 Sensorelemente (pixel) pro mm auf dem Sensor.

Der Sensor 8 wird weiterhin von einer Referenzstrahlungsquelle 10 mit einer Referenzstrahlung 11 mit einer vorbestimmten, vorzugsweise konstanten Trägerfrequenz mit definierter Phasenlage bestrahlt. Die Frequenz der Referenzstrahlung ist vorzugsweise genauso groß wie die Frequenz der Strahlung 2.

Die Abbildungsoptik 6 ist derart ausgebildet bzw. eingestellt, daß die Bilder der durch die Strahlung 2 auf der Oberfläche 4 des Körpers 3 erzeugten speckles in der Bildebene 8 mindestens drei Sensorelemente 9 überdecken. Dies wird anhand der Fig. 2 deutlich: Das dort angedeutete speckle 12 überdeckt mindestens drei Sensorelemente 13, 14, 15. Aus den Intensitätssignalen der mindestens drei Sensorelemente wird die Phase der Strahlung 5 von der Oberfläche 4 des Körpers 3 durch eine in der Zeichnung nicht dargestellte Recheneinheit bestimmt.

Wie aus Fig. 2 ersichtlich, sind die Sensorelemente zeilenweise längs paralleler Linien gleichabstandet angeordnet. Die Abbildungsoptik 6 ist derart ausgebildet bzw. eingestellt, daß die Bilder der durch die Strahlung 2 auf der Oberfläche 4 des Körpers 3 erzeugten speckles 12 in der Bildebene mindestens drei nebeneinanderliegende Sensorelemente 13, 14, 15 einer Zeile überdecken.

In der Fig. 4 ist schematisch die Intensität  $I$  dargestellt.

Durch die Interferenz der Strahlung 5 von der Oberfläche 4 des Körpers 3 mit der Referenzstrahlung 11 wird der in der Fig. 4 gezeigte Intensitätsverlauf  $I$  erzeugt. Über drei Sensorelemente 21, 22, 23 verläuft mindestens eine volle Schwingung der Intensität  $I$ , wie aus Fig. 4 ersichtlich. Die drei Sensorelemente 21, 22, 23 können also als Stützstellen für die Bestimmung der Phasenlage herangezogen werden. Aus den Intensitäten der drei Sensorelemente 21, 22, 23 wird die Phasenlage bestimmt bzw. errechnet. Drei nebeneinander liegende Sensorelemente ergeben also einen Wert für die Phasenlage. Anschließend wird das Verfahren mit den Sensorelementen 22, 23, 24 als Stützstellen für die Bestimmung der nächsten Phasenlage wiederholt. Auf diese Weise wird innerhalb einer Zeile fortgeschritten und anschließend auch zeilenweise fortgeschritten.

Die Fig. 3 zeigt die Abbildungsoptik 6 in einer ausführlicheren Darstellung. Die von der Oberfläche 4 des Körpers kommende Strahlung wird von der Abbildungsoptik 6 in die Bildebene 7 abgebildet. Der Durchmesser  $D$  des Objektivs 6 und die Bildweite  $z$  sind derart gewählt, daß zusammen mit der Wellenlänge  $L$  der Strahlung der entstehende speckle-Durchmesser  $d$  so groß wird, daß er min-

destens drei Sensorelemente überdeckt.

In der Fig. 5 ist eine Abbildungsoptik gezeigt, in die ein Lichtwellenleiter 31 eingeleitet wird. Durch diesen Lichtwellenleiter wird die Referenzstrahlung erzeugt.

In der in Fig. 6 dargestellten Abbildungsoptik befindet sich eine Blende 32 mit mehreren Aperturen 33 vor dem Objektiv 6. Durch diese Blende mit den beiden Aperturen wird die Referenzstrahlung erzeugt.

In der Fig. 7 ist ein anderes Ausführungsbeispiel für die Erzeugung der Referenzstrahlung gezeigt. Vor dem Objektiv 6 befindet sich eine optisches Gitter 34 zur Erzeugung der Referenzstrahlung.

In der Ausführungsform der Fig. 8 ist vor dem Objektiv 6 ein optischer Keil 35 bzw. ein Prisma angeordnet, welches die obere Hälfte der Abbildungsoptik 6 überdeckt. Es wird also das sogenannte Shearing-Verfahren durchgeführt.

In der Fig. 9 ist ein Aufbau zur Phasenmessung mit transparenten Objekten dargestellt. Dieser Aufbau eignet sich grundsätzlich auch für die Phasenmessung bei Objekten mit spiegelnder Oberfläche. Eine kohärente Strahlung, ausgehend von einer Laserdiode 36, wird nach der Strahlteilung für den Referenzstrahl 37 im Strahlteiler 38 aufgeweitet mit einer teleskopischen Linsenanordnung 39. Der aufgeweitete Strahl durchläuft die Probe 40, wo er in Abhängigkeit einer Brechzahländerung, hervorgerufen durch Temperatur-, Druck- oder Konzentrationsänderung, eine Phasenverschiebung erfährt. Die Probe 40 wird dann mit einem Objektiv 41 auf den Sensor 42 abgebildet. Auf den Sensor 42 wird das Objektlicht 43 mit dem Referenzstrahl 37 überlagert, der z.B. über einen Spiegel 44 in einen Lichtwellenleiter 45 eingekoppelt wird.

Falls wahlweise im Objektstrahl eine Mattscheibe angeordnet wird, entsteht diffuse Strahlung, die dann wieder so abgebildet wird, daß die speckles mindestens drei Sensorelemente überdecken.

Die Fig. 10 zeigt eine Abbildungsoptik mit einer Zwischenabbildung. Die von der Oberfläche 4 des Objekts 3 kommende Strahlung durchtritt zunächst ein erstes, näher am Objekt liegendes Objektiv 51 und anschließend ein zweites, näher an der Bildebene 7 liegendes, zweites Objektiv 52. Zwischen den Objektiven 51, 52 befindet sich die Zwischenabbildung 53. Die Referenzstrahlung 54 wird in der Hauptebene 55 des zweiten, näher an der Bildebene 7 liegenden Objektivs 52 eingeleitet. Das erste Objektiv 51 ist ein auswechselbares Objektiv oder ein Zoom-Objektiv. Dadurch kann der Bildausschnitt beliebig gewählt werden, ohne daß eine Neujustierung erfolgen muß.

Die Fig. 11 zeigt eine Vorrichtung mit einem Strahlteiler. Die Referenzstrahlung 11 wird über einen Strahlteiler 56 in den Strahlengang zwischen

der Oberfläche 4 des Objekts 3 und der Bildebene 7 eingeleitet. Der Strahlteiler 56 befindet sich im Strahlengang vor der Abbildungsoptik 6. Im Strahlengang des Referenzstrahls 11 befindet sich vor dem Strahlteiler 56 eine weitere Optik 57, die aus einer Sammellinse bestehen kann.

## Ansprüche

1. Verfahren zur direkten Phasenmessung von Strahlung, insbesondere Lichtstrahlung, die von einem Körper (3) mit diffus reflektierender Oberfläche (4) reflektiert wird,
- dadurch gekennzeichnet,
- daß der Körper (3) mit kohärenter Strahlung (2) einer vorbestimmten Frequenz bestrahlt wird oder daß der Körper (3) mit einem Lack überzogen wird, in dem die Strahlung diffus reflektierende Teilchen eingelagert sind, und mit nicht kohärenter Strahlung (2) einer vorbestimmten Frequenz bestrahlt wird,
- daß die reflektierte Strahlung (5) von einer Abbildungsoptik (6) in eine Bildebene (7) abgebildet wird, in der sich ein Sensor (8) mit einer Vielzahl von vorzugsweise regelmäßig angeordneten Sensorelementen (9) befindet,
- daß auf den Sensor (8) eine Referenzstrahlung (11) mit einer vorbestimmten, vorzugsweise konstanten Trägerfrequenz mit definierter Phasenlage überlagert wird, wobei die Trägerfrequenz vorzugsweise genauso groß ist wie die Strahlungsfrequenz,
- daß die Abbildungsoptik (6) derart ausgebildet bzw. eingestellt wird, daß die Bilder der durch die Strahlung (5) auf dem Körper (3) erzeugten speckles (12) in der Bildebene (7) mindestens drei Sensorelemente (13, 14, 15) überdecken,
- und daß aus den Intensitätssignalen der mindestens drei Sensorelemente die Phase der Strahlung (5) von dem Körper (3) bestimmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensorelemente (9) zeilenweise längs paralleler Linien vorzugsweise gleichbeabstandet angeordnet sind.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Abbildungsoptik (6) derart ausgebildet bzw. eingestellt wird, daß die Bilder der durch die Strahlung (2) auf dem Körper (3) erzeugten speckles in der Bildebene (7) mindestens drei nebeneinander liegende Sensorelemente (13, 14, 15) einer Zeile überdecken.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzstrahlung (11) durch einen Lichtwellenleiter (31) in die Abbildungsoptik (6) eingeleitet wird (Fig. 5).
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzstrah-

lung (11) durch eine vor oder in der Abbildungsoptik (6) angeordnete Blende (32) mit mehreren, vorzugsweise zwei, Aperturen (33) erzeugt wird (Fig. 6).

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzstrahlung (11) durch einen vor oder in der Abbildungsoptik (6) angeordneten optischen Keil (35) (Prisma) erzeugt wird, der einen Teil, vorzugsweise eine Hälfte, der Apertur der Abbildungsoptik (6) überdeckt (Fig. 8).

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzstrahlung (11) durch ein vor oder in der Abbildungsoptik (6) angeordnetes optisches Gitter (34) erzeugt wird (Fig. 7).

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzstrahlung (11) über einen Strahlteiler (56) in den abbildenden Strahlengang eingeleitet wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß auf den Sensor (8) mehrere Referenzstrahlungen mit jeweils einer vorbestimmten, vorzugsweise konstanten Trägerfrequenz mit definierter Phasenlage überlagert werden.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Referenzstrahlungen überlagert werden.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzstrahlungen jeweils verschiedene Frequenz aufweisen.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in dem abbildenden Strahlengang eine Zwischenabbildung (53) erzeugt wird.

13. Verfahren zur direkten Phasenmessung von Strahlung, insbesondere Lichtstrahlung oder Infrarotstrahlung, die ein transparentes Medium durchläuft oder die von einer spiegelnden Oberfläche reflektiert wird,

dadurch gekennzeichnet,

daß die durch das transparente Medium (40) getretene oder von der spiegelnden Oberfläche reflektierte, kohärente Strahlung (43) auf einen Sensor (42) mit einer Vielzahl von vorzugsweise regelmäßig angeordneten Sensorelementen mit einer Referenzstrahlung (37) mit gleicher Frequenz und definierter Phasenlage so überlagert wird, daß eine Periode des durch die Überlagerung entstehenden Interferenzfeldes mindestens drei Sensorelemente überdeckt

und daß aus den Intensitätssignalen der mindestens drei Sensorelemente die Phase der durch das transparente Medium getretenen oder von der spiegelnden Oberfläche reflektierten Strahlung (43) bestimmt wird.

14. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

nach einem der Ansprüche 1 bis 12, bestehend aus

einer Strahlungsquelle (1), insbesondere einer Lichtquelle, zur Abgabe von kohärenter Strahlung (2) einer vorbestimmten Frequenz auf einen Körper (3) mit diffus reflektierender Oberfläche (4), einer Abbildungsoptik (6) zum Abbilden der von dem Körper (3) reflektierten Strahlung (5) in eine Bildebene (7),

5 einem in der Bildebene (7) angeordneten Sensor (8) mit einer Vielzahl von vorzugsweise regelmäßig angeordneten Sensorelementen (9),

10 einer Referenzstrahlungsquelle (10) zur Überlagerung des Sensors (8) mit einer Referenzstrahlung (11) mit gleicher Frequenz und definierter Phasenlage, sodaß durch die Überlagerung eine vorzugsweise konstante Trägerfrequenz entsteht,

wobei die Abbildungsoptik (6) derart ausgebildet bzw. eingestellt ist, daß die Bilder der durch die Strahlung (2) auf dem Körper (3) erzeugten speckles in der Bildebene (7) mindestens drei Sensorelemente (13, 14, 15) überdecken, wobei der Referenzstrahl so eingekoppelt wird, daß die Periode der Trägerfrequenz mindestens drei Sensorelemente

15 (13, 14, 15) überdeckt und wobei ein Rechner vorgesehen ist, der aus den Intensitätssignalen der mindestens drei Sensorelemente (13, 14, 15) die Phase der Strahlung (5) von dem Körper (3) bestimmt.

20 15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensorelemente (9) zeilenweise längs paralleler Linien vorzugsweise gleichbeabstandet angeordnet sind (Fig. 2).

30 16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Abbildungsoptik (6) derart ausgebildet bzw. eingestellt ist, daß die Bilder der durch die Strahlung (2) auf dem Körper (3) erzeugten speckles in der Bildebene (7) mindestens drei nebeneinander liegende Sensorelemente (13, 14, 15) in einer Zeile überdecken.

35 17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzstrahlungsquelle aus einem in die Abbildungsoptik (6) führenden Lichtwellenleiter (31) besteht (Fig. 5).

40 18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzstrahlungsquelle aus einer vor oder in der Abbildungsoptik (6) angeordneten Blende (32) mit mehreren, vorzugsweise zwei, Aperturen (33) besteht (Fig. 6).

45 19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzstrahlungsquelle aus einem vor oder in der Abbildungsoptik (6) angeordneten optischen Keil (35) (Prisma) besteht, der einen Teil, vorzugsweise eine Hälfte, der Apertur der Abbildungsoptik (6) überdeckt (Fig. 8).

50 20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis

55 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzstrahlungsquelle aus einem vor oder in der Abbildungsoptik (6) angeordneten optischen Keil (35) (Prisma) besteht, der einen Teil, vorzugsweise eine Hälfte, der Apertur der Abbildungsoptik (6) überdeckt (Fig. 8).

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis



16, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzstrahlungsquelle aus einem vor oder in der Abbildungsoptik (6) angeordneten optischen Gitter (34) besteht (Fig. 7).

21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzstrahlungsquelle aus einem im abbildenden Strahlengang angeordneten Strahlteiler (56) besteht. 5

22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 21, gekennzeichnet durch mehrere Referenzstrahlungsquellen zur Bestrahlung des Sensors (8) mit jeweils einer Referenzstrahlung mit einer vorbestimmten, vorzugsweise konstanten Trägerfrequenz mit definierter Phasenlage. 10

23. Vorrichtung nach Anspruch 22, gekennzeichnet durch zwei Referenzstrahlungsquellen. 15

24. Vorrichtung nach Anspruch 22 oder 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzstrahlungen jeweils verschiedene Frequenz aufweisen.

25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 24, gekennzeichnet durch eine in dem abbildenden Strahlengang angeordnete Zwischenabbildung (53). 20

26. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß in dem abbildenden Strahlengang ein erstes Objektiv (51) und ein zweites Objektiv (52) angeordnet sind, zwischen denen die Zwischenabbildung (53) erzeugt wird. 25

27. Vorrichtung nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß das erste, näher am Objekt (3) liegende Objektiv (51) ein auswechselbares Objektiv oder ein Zoom-Objektiv ist. 30

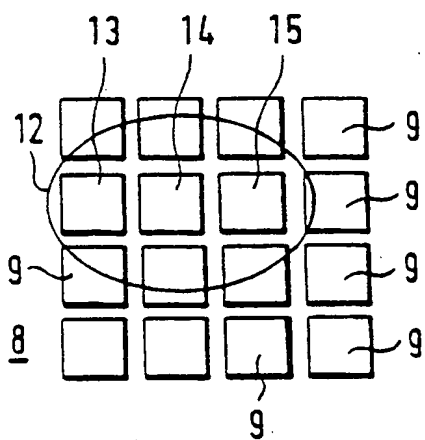
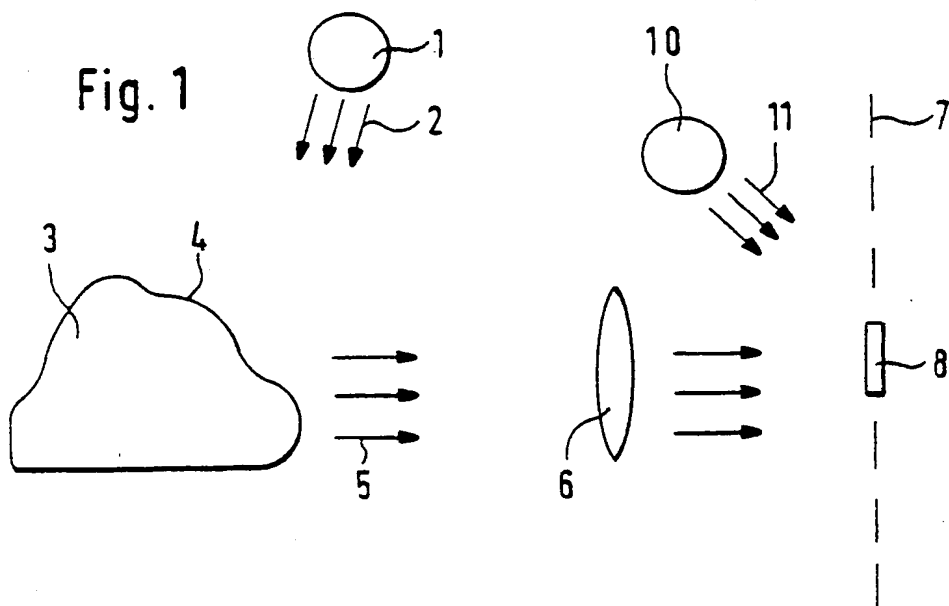
28. Vorrichtung nach Anspruch 26 oder 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzstrahlung (54) in das zweite, näher an der Bildebene (7) liegende Objektiv (52) eingeleitet wird. 35

29. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 13, bestehend aus einer Strahlungsquelle (36), insbesondere einer Lichtquelle, zur Abgabe von kohärenter Strahlung einer vorbestimmten Frequenz auf ein transparentes Medium (40) oder einen Körper mit einer spiegelnden Oberfläche, 40

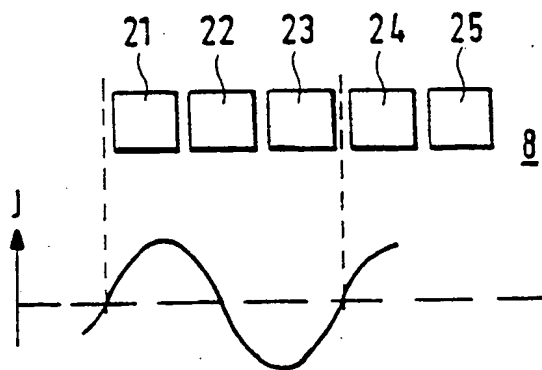
einem Sensor (42) mit einer Vielzahl von vorzugsweise regelmäßig angeordneten Sensorelementen, einer Referenzstrahlungsquelle zur Bestrahlung des Sensors (42) mit gleicher Frequenz wie die durch das transparente Medium getretene oder von dem Körper mit spiegelnder Oberfläche reflektierte Strahlung, 45

wobei eine Periode des durch die Überlagerung entstehenden Interferenzfeldes mindestens drei Sensorelemente überdeckt, 50

und einem Rechner, der aus den Intensitätssignalen der mindestens drei Sensorelemente die Phase der durch das transparente Medium (40) getretenen oder von der spiegelnden Oberfläche reflektierten Strahlung bestimmt. 55



**Fig. 2**



**Fig. 4**

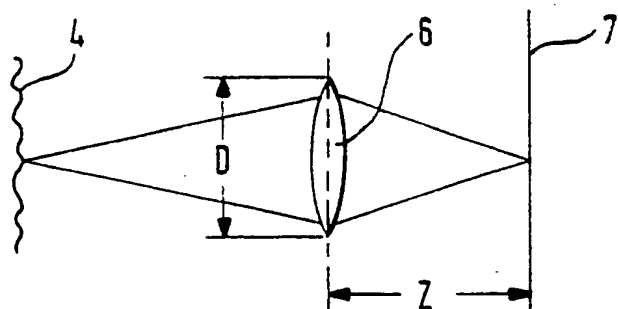


Fig. 3

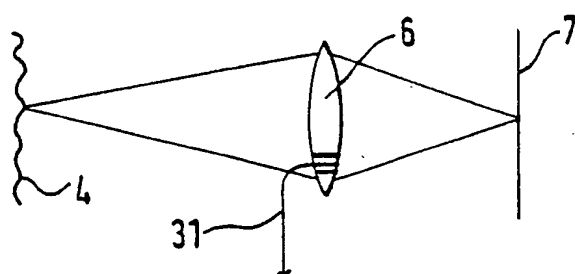


Fig. 5

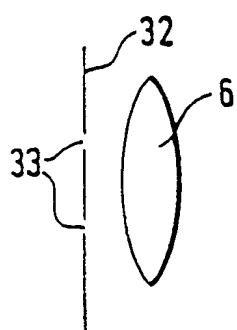


Fig. 6

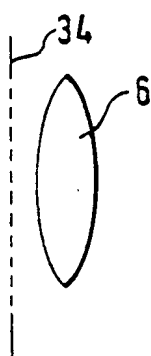


Fig. 7

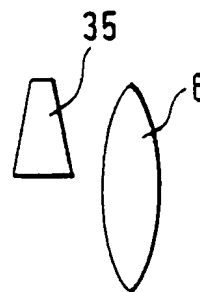


Fig. 8

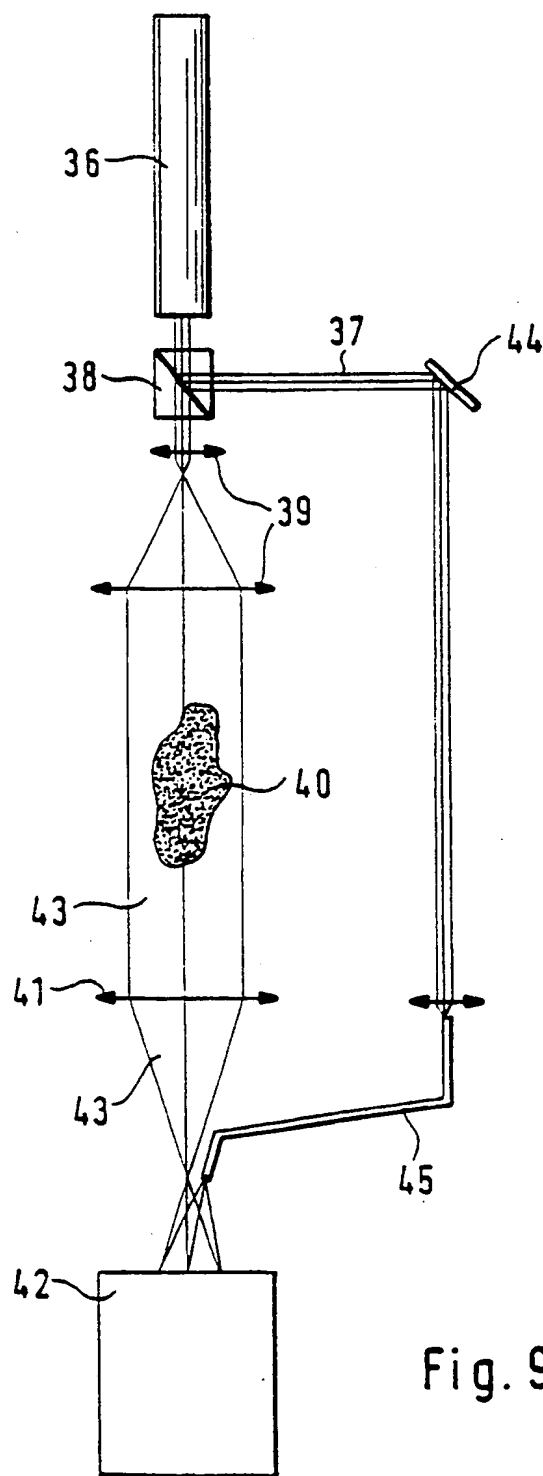
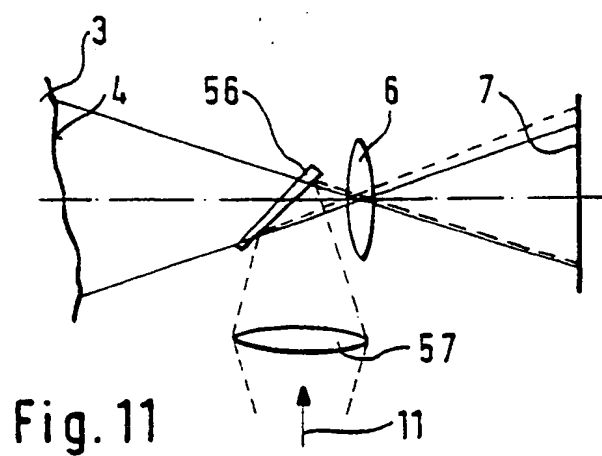
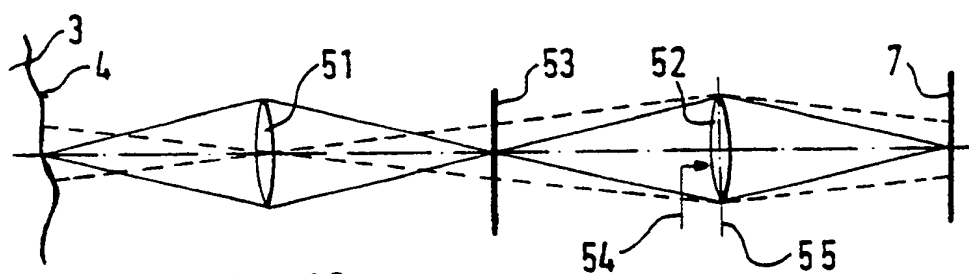


Fig. 9





Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 90117490.4

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.)
X	<u>DE - A1 - 3 541 891</u> (KACHANIAN) * Spalte 3, Zeile 34 - Spalte 4, Zeile 20; Spalte 5, Zeilen 45-68; Fig. *	1, 2, 8, 14, 15, 21, 27, 28	G 01 J 9/00 G 03 H 1/04
A	--	3, 13, 16, 29	
X	<u>US - A - 4 611 288</u> (DURET et al.) * Spalte 8, Zeile 10 - Spalte 10, Zeile 50; Fig. 1-8 *	1, 2, 4, 7, 8, 14, 15, 17, 20, 21	
D, A	<u>DE - A1 - 3 723 555</u> (STEINBICHLER) * Spalte 3, Zeile 48 - Spalte 5, Zeile 11; Fig. 1, 2 *	1, 13, 14, 29	
D, A	APPLIED OPTICS, vol. 18, no. 7, April 1979 Y.Y. HUNG, C.Y. LIANG "Image shearing camera for direct measurement of surface strains" Seiten 1046-1051 * Seite 1047, Paragraph "Image shearing camera"; Fig. 2 *	6, 19	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.)
			A 61 B 5/00 A 61 C 9/00 G 01 B 11/00 G 01 J 9/00 G 03 H 1/00
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.			
Recherchenort WIEN		Abschlußdatum der Recherche 19-11-1990	
		Prüfer BAUER	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTEN			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet		E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist	
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie		D : in der Anmeldung angeführtes Dokument	
A : technologischer Hintergrund		L : aus andern Gründen angeführtes Dokument	
O : nichtschriftliche Offenbarung			
P : Zwischenliteratur		& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze			